

半導体二次元電子系のプラズモンを利用したコヒーレントテラヘルツ波の発生・増幅に関する研究

| | |
|--------|---|
| 著者 | 渡辺 隆之 |
| 学位授与機関 | Tohoku University |
| 学位授与番号 | 11301甲第15806号 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/58651 |

| | | | |
|-------------|--|---------------|--------------|
| 氏 名 | わた なべ たか ゆき 渡 辺 隆 之 | | |
| 研究科，専攻の名称 | 東北大学大学院工学研究科（博士課程）電気・通信工学専攻 | | |
| 学 位 論 文 題 目 | 半導体二次元電子系のプラズモンを利用した コヒーレントテラヘルツ波の発生・増幅に関する研究 | | |
| 論 文 審 査 委 員 | 主査 | 東北大学教授 尾辻 泰一 | 東北大学教授 上原 洋一 |
| | | 東北大学教授 八坂 洋 | 東北大学教授 小山 裕 |
| | | 東北大学准教授 末光 哲也 | |

論文内容要約

電波と光波に挟まれた約 0.3～30 THz の電磁波であるテラヘルツ波は、人体に安全で物質を構成する多くの分子の振動周波数と重なるなど、他の電磁波にはない特徴を持つことから、科学技術に様々な革新をもたらす可能性を秘めている。近年、各種のデバイス・計測技術のめざましい発展に支えられ、分光・分析・イメージング・無線通信を中心とするテラヘルツ電磁波利用技術が急速に進展している。本論文は、半導体二次元電子系のプラズモンを利用した新規なコヒーレントテラヘルツ電磁波の発生・増幅に関する研究成果を纏めたもので、全文 5 章よりなる。第 1 章は、序論である。第 2 章は、化合物半導体量子井戸内に励起される二次元電子プラズモンの不安定性を利用したテラヘルツ電磁波発生法を取り上げ、動作原理、素子構造、設計・試作・実験検証について論じている。まず、従来の対称型二重格子状ゲート電極を有する高電子移動度トランジスタ（HEMT）デバイスにおける問題点を指摘している。次に、その解決策としてプラズモン不安定性を向上する非対称型二重格子状ゲート電極を有する HEMT 構造を提案し、素子の設計・試作・評価により、プラズモンの 3 次モードに対応する 3.5 THz 近傍において、140K と低温ながら単色コヒーレント放射の観測に成功している。第 3 章は、炭素原子の単層材料であるグラフェンの物性を利用したテラヘルツ帯誘導放出および巨大利得増強作用の理論と実験検証について論じている。光学励起グラフェンにおいて理論予測された表面プラズモンポラリトン励起による巨大テラヘルツ利得を、独自の光ポンプ・近接場テラヘルツプローブ・光プローブ法により、他に先駆けて実験検証に成功している。第 4 章は、電流注入型グラフェンテラヘルツレーザーの実現に向けた検討と素子構造の提案について論じている。第 2 章で述べたプラズモン不安定性による自励発振と第 3 章で述べた反転分布グラフェンにおける表面プラズモンポラリトン励起による巨大テラヘルツ利得とを同時に発現しうる機構として、Popov らが提案したグラフェン・金属リボンアレイ構造に独自の非対称二重格子状ゲート構造を導入した新規な電流注入型レーザー素子構造を提案している。プラズモン不安定性に伴う自励発振は、巨大利得が得られるプラズモン共鳴モード周波数で自己整合的に発現することから、両者の相乗作用によって超放出現象を伴う高強度レーザー発振が実現できるものと期待できる。第 5 章は、結論である。以上要するに本論文は、半導体二次元電子系のプラズモンを利用した新規なコヒーレントテラヘルツ電磁波の発生・増幅の機構とそれらを実現するデバイス構造を実験的に明らかにしたものである。